



Résumé de cours – Octobre 2008

Montpellier II - EPSED

SUPAGRO - ESAT, IAARC, GEEFT

## TECHNIQUES DE METHANISATION EN REGIONS CHAUDES

Déchets, technologies et applications

CO<sub>2</sub>

CH<sub>4</sub>

J. Luc FARINET

CIRAD – UPR « Risque Environnemental du Recyclage »

# **SOMMAIRE**

## **I. Les filières de valorisation énergétique des déchets**

## **II. Cas particulier de la fermentation alcoolique**

## **III. La méthanisation**

### III.1. Objectif et domaine d'application

### III.2. Principe général

### III.3. Utilisation des coproduits

#### III.4.1. Le biogaz

#### III.4.2. Le résidu ou digestat

### III.4. Procédés mis en œuvre

## **IV. Application en régions chaudes**

### IV.1. Un intérêt particulier

### IV.2. Technologies utilisées

## **V. Exemples d'application**

### V.1. Production décentralisée d'énergie au Mali

### V.2. Valorisation des déchets d'abattoir au Sénégal

## **I. Les filières de valorisation énergétique des déchets**

Il existe plusieurs voies de valorisation énergétique de la biomasse et on distingue essentiellement la voie sèche et la voie humide. La première regroupe les techniques de combustion directe, gazéification et pyrolyse. Elle s'adresse plus particulièrement à la biomasse sèche (bois, paille) et la production d'énergie est obtenue par destruction complète de la matière organique (MO). La voie humide est bien adaptée aux déchets agricoles et agro-alimentaires. Elle regroupe essentiellement la fermentation alcoolique et la méthanisation. Cette dernière est facilement mise en œuvre en reproduisant en milieu contrôlé des phénomènes biologiques fréquemment observés dans la nature (marais, rizières). En fait, on s'aperçoit que la fermentation au sens large est la seule voie de traitement adaptée au recyclage agricole des déchets organiques car elle permet toujours l'obtention d'un coproduit résiduel permettant l'amendement et la fertilisation des sols.

Il est important de signaler que l'obtention d'un amendement organique de qualité nécessitera pratiquement toujours une fermentation aérobie complémentaire, ou compostage, pour la maturation des résidus de méthanisation ou de fermentation alcoolique. En conséquence le compostage, et plus particulièrement sa phase finale de maturation, peut être considéré comme une technique récurrente quelque soit le type de fermentation choisi au départ.

## **II. Cas particulier de la fermentation alcoolique**

Contrairement aux autres fermentations, la fermentation alcoolique ne concerne encore aujourd'hui que certaines catégories de déchets organiques. Il s'agit principalement des déchets à forte teneur en glucides, surtout les amidons et les sucres libres. Les déchets les mieux adaptés sont les résidus végétaux de l'industrie sucrière, notamment les mélasses qui contiennent encore 50% de glucides. C'est ainsi que l'on estime que 3,5 à 4 tonnes de mélasse peuvent permettre la production d'une tonne d'alcool éthylique. L'intérêt par rapport à la production classique d'alcool à partir du pétrole est que la dépense énergétique est 3 à 4 fois moindre.

Dans le domaine des déchets, il est possible d'utiliser certains résidus végétaux tels que les rafles de maïs ou encore les papiers-cartons, mais les techniques ne sont pas encore concurrentielles. Le traitement des déchets lignocellulosiques exige une opération de prétraitement destinée à éliminer la lignine, généralement par hydrolyse alcaline, ce qui conduit à des surcoûts importants. Du fait du peu d'application de cette filière de traitement aux déchets urbains et agricoles, nous ne l'évoquons pas ici.

## **III. La méthanisation**

### III.1. Objectif et domaine d'application

La méthanisation ou digestion anaérobie permet la biodégradation des déchets organiques en produisant un gaz combustible, le méthane. Elle s'applique principalement aux déchets humides riches en matière organique à dominante cellulosique. Ainsi, tant les effluents liquides riches en matière organique que les déchets solides peuvent être traités par méthanisation.

La méthanisation est en phase de pleine croissance avec de gros efforts de R&D en Europe notamment.

### III.2. Principe général

Le processus de méthanisation (en absence totale d'oxygène) se déroule dans un réacteur fermé et abouti à la formation de 2 coproduits : le biogaz et un résidu méthanisé ou digestat. C'est un processus naturel résultant d'une activité microbienne complexe. Alors qu'en présence d'oxygène la fermentation aérobie des déchets, ou plus communément leur compostage, consiste

en une réaction fortement exothermique d'oxydation du carbone, on assiste plutôt à un phénomène faiblement exothermique de combustion du carbone en conditions anaérobies.

La méthanisation s'opère en trois étapes principales:

- hydrolyse, par laquelle les macromolécules organiques se trouvent décomposées en produits plus simples; action des bactéries fermentaires;
- acidogénèse, qui conduit à la formation d'acides gras volatils divers, en particulier l'acide acétique; action des bactéries acidogènes et essentiellement acétogènes;
- méthanogénèse, étape ultime pendant laquelle le biogaz est produit à partir de l'acide acétique, du dioxyde de carbone et de l'hydrogène issus des étapes précédentes; action des bactéries méthanogènes.

Toute cette flore bactérienne mixte est généralement présente naturellement, en quantité plus ou moins importante, dans la plupart des déchets organiques. Le démarrage de la méthanisation peut être accéléré en inoculant le digesteur avec une flore spécifique, par exemple en ajoutant des matières stercoraires (contenu de panse) de bovins ou un digestat provenant d'un autre réacteur en fonctionnement.

Théoriquement, on a les équivalences suivantes :

- 1 kg de demande chimique en oxygène (DCO) dégradée donne 0,35 l de méthane,
- la dégradation d'un kg de MO donne au maximum 1,1 m<sup>3</sup> de méthane.

Les conditions opératoires de la méthanisation sont principalement :

- l'absence totale d'oxygène dans le milieu avec un potentiel d'oxydo-réduction inférieur à -200 mV.
- le taux d'humidité du milieu de fermentation qui doit être supérieur à 50% (plutôt supérieur à 65% la plupart du temps).
- la présence de suffisamment de nutriments dans le milieu : N, P, oligoéléments.
- la température : on distingue 3 plages de température engendrant chacune la présence d'une flore microbienne adaptée: psychrophilie (10 à 25°C), mésophilie (25 à 40°C) et thermophilie (45 à 60°C). La cinétique de la méthanisation croît avec la température. La réaction n'est que faiblement exothermique et les conditions de température nécessaires au développement optimal des bactéries mésophiles ou thermophiles doivent être créées par un apport de chauffage externe. En zone tropicale, les conditions de température et d'ensoleillement suffisent à entretenir la mésophilie et la plupart des digesteurs travaillent entre 25 et 35°C. Dans des conditions plus tempérées, l'apport de chaleur est obtenu à partir d'un chauffage alimenté par le biogaz produit; une partie de la production d'énergie est donc auto-consommée par le digesteur (30% en moyenne en Europe).
- le pH du milieu, qui doit être supérieur à 6,8 avec une alcalinité supérieure à 1000 mg/l (équivalents CaCO<sub>3</sub>)
- le rapport carbone/azote (C/N) du milieu qui définit les conditions de nutrition des micro-organismes.
- l'absence de composés toxiques ou inhibiteurs (métaux, azote ammoniacal, chlore, antibiotiques,...).

L'obtention de performances de méthanisation élevées implique le respect de la cinétique générale des réactions avec des charges en MO et des temps de séjour adéquats. Les critères de performance de la méthanisation font appel à des paramètres d'entrée tels que le volume du digesteur, le débit de déchets et la charge en MO. Pour cette dernière, la gamme va de :

- 0,5 à 40 kg DCO/m<sup>3</sup>.j pour les effluents liquides (TRH de 1 à 120 jours)
- 1 à 10 kg MO/m<sup>3</sup>.j pour les déchets solides (Ts de 15 à 55 jours)

Les paramètres de production concernent le rendement et la productivité en biogaz et en méthane.

Différents modèles mathématiques ont été mis au point pour représenter la méthanisation. Ils sont cependant très spécifiques par rapport à la composition de la matière organique de départ, ce qui les rend difficilement utilisables.

Du fait des différentes réactions biologiques mises en jeu, la méthanisation entraîne une diminution de la charge organique, donc polluante, du substrat initial. Elle est à ce titre une technique reconnue de dépollution, avec des performances variables selon la technique utilisée et le type de substrat.

### III.3. Utilisation des coproduits

#### III.3.1. Le biogaz

Le méthane et le gaz carbonique sont les composants essentiels du biogaz, mais il contient également en très faibles proportions de l'azote, de l'hydrogène, du monoxyde de carbone et de l'hydrogène sulfuré. Produit en milieu humide, le biogaz est par ailleurs saturé d'eau en sortie de digesteur.

La richesse du biogaz en méthane, qui conditionne son utilisation comme combustible ou comme carburant, est fonction de la nature du substrat digéré et s'exprime en fraction volumique (%). Le biogaz est riche en méthane (65 à 70%) lorsque le déchet est riche en azote comme dans le cas des déchets d'élevage et de certains effluents agro-industriels. La richesse diminue par contre (50 à 60%) pour les déchets végétaux et les ordures ménagères, plus pauvres en azote.

Le pouvoir calorifique d'un combustible représente la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète de l'unité de quantité de ce combustible. On l'exprime à travers le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) lorsque l'eau produite par cette combustion reste à l'état de vapeur, ce qui est le cas de la plupart des équipements classiques d'utilisation du biogaz (brûleurs, moteurs à combustion). Le PCI du biogaz dépend de sa teneur en méthane, il est exprimé en kWh/m<sup>3</sup> ou kWh/kg. Les principales caractéristiques comparées du biogaz, du méthane et de quelques combustibles ou carburants classiques sont données tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques comparées du biogaz et de quelques combustibles ou carburants.

Caractéristiques moyennes	Biogaz (60% CH <sub>4</sub> )	Méthane	Butane	Gaz naturel	Essence
PCI (kWh/kg)	4,89	13,70	13,56	13,61	12,78
Masse volumique (gaz - kg/Nm <sup>3</sup> ) (liquide - kg/l)	1,22	0,72	1,88	0,74	0,72
Densité par rapport à l'air	0,94	0,55	2,01	0,57	-
Limites d'inflammabilité dans l'air (%)	8 - 20	5 - 15	1,8 - 9	5 - 14	-

Dans la plupart des cas, le biogaz peut être utilisé en l'état, sans être préalablement épuré. Les appareillages classiques ne nécessitent pas une pression d'alimentation élevée (maxi 10 mbars)

aussi le stockage à basse pression est généralement suffisant lorsque les distances de distribution du biogaz ne sont pas trop élevées.

Dans le domaine de la production d'énergie thermique, on distinguera la cuisson domestique et la production d'eau chaude et de vapeur. Pour la première, on utilisera des brûleurs basse pression de grande série qui seront adaptés spécialement pour obtenir des puissances de chauffe de 3 à 10 kW. Ces brûleurs sont facilement intégrables dans des foyers améliorés, ce qui augmente les rendements de cuisson. La production d'eau chaude domestique peut être réalisée à partir d'un chauffe eau spécialement adapté utilisant des brûleurs atmosphériques basse pression d'une puissance allant de 2 à 100 kW. L'alimentation des réseaux de chaleur ou de vapeur pourra être réalisée à partir de chaudières industrielles équipés de brûleurs moyenne pression à air pulsé avec des puissances allant jusqu'à 10 MW.

Pour l'utilisation du biogaz comme carburant dans les moteurs à poste fixe, on distinguera deux techniques : le dual fuel/biogaz et le moteur à gaz.

Dans les moteurs utilisant la technique dual fuel/biogaz ou diesel/gaz, la puissance développée résulte de la combustion simultanée de deux carburants : le biogaz, carburant principal dont le débit est réglé suivant la puissance et une faible quantité de fuel, appelée injection pilote qui, injectée selon le principe diesel, a pour but d'amorcer la combustion. Afin de surseoir aux irrégularités de régime ayant pour cause des variations du PCI du biogaz, les moteurs sont équipés d'un système particulier de régulation qui agit par compensation automatique des deux carburants. Ces moteurs ont l'avantage d'un démarrage simple et rapide et surtout de conserver la possibilité d'une alimentation unique au fuel en cas de problèmes de production de biogaz. Ce dernier aspect n'est pas négligeable, notamment en milieu rural. Le régime de rotation de ces moteurs est de 1200 à 1500 tours/mn et leur maintenance est équivalente à celle des moteurs diesel classiques. La gamme de puissance va de 5 à plus de 7500 kW.

Les moteurs à gaz sont dérivés de moteurs à essence ou diesel qui sont profondément modifiés. Leur coût est généralement moins élevé que celui des moteurs dual. La gamme de puissance, d'abord limitée, est maintenant très large et va de 20 à plus de 2000 kW. L'adaptation au biogaz est définitive et le retour à un carburant traditionnel nécessite une intervention mécanique importante.

### III.3.2. Le résidu ou digestat

Après méthanisation, une partie plus ou moins importante de la matière organique a été transformée en biogaz, tandis que les éléments minéraux sont conservés et synthétisés en partie par la flore microbienne. Par rapport à la matière sèche initiale, du fait de la perte de carbone, le résidu méthanisé sera donc enrichi en éléments minéraux avec un rapport C/N réduit. La majeure partie de l'azote sera minéralisée et réduite sous forme d'ammoniaque. Le résidu sera de plus partiellement dépollué, désodorisé et plus stable, donc stockable et épandable avec moins de nuisances. La méthanisation en mésophilie permet de plus une réduction notable des parasites et bactéries pathogènes. En thermophilie, le résidu est exempt des principaux germes pathogènes.

Le digestat peut être utilisé directement comme fertilisant organo-minéral ou comme aliment piscicole. C'est le cas par exemple en Chine, au Vietnam et en Inde. Pour les déchets solides, le résidu subit d'abord une séparation solide/liquide pour augmenter sa siccité. La fraction liquide peut être recyclée en tête de méthanisation ou utilisée comme fertilisant. La fraction solide subit généralement un compostage aérobie complémentaire pendant plusieurs mois afin de parfaire sa maturation. Le compostage mixte anaérobie puis aérobie a l'avantage, outre la production de biogaz, de permettre le compostage direct des déchets à forte humidité sans apport d'éléments structurants. C'est notamment le cas avec des déchets d'abattoir.

### III.4 Procédés mis en œuvre

La fonction du digesteur est d'assurer la fermentation dans un réacteur fermé dont le volume doit être suffisant pour respecter la cinétique des réactions biologiques. On distingue deux grandes familles de digesteurs :

- les digesteurs pour liquides : le substrat liquide ( $MST < 15\%$ ) s'écoule gravitairement ou sous l'action d'une pompe de l'entrée vers la sortie du réacteur; le modèle de base est représenté par la fosse septique conventionnelle. Les procédés se distinguent essentiellement par le mode de rétention de la biomasse à l'intérieur du digesteur (mélangé, lit de boue, garnissage, lit fluidisé).
- les digesteurs pour solides : le substrat solide ou pâteux est renouvelé périodiquement, en totalité ou partiellement, par des moyens mécaniques; le premier modèle "historique", sur la base d'une alimentation discontinue, a été mis au point par Isman et Ducellier à l'Ecole d'Agronomie d'Alger dans les années quarante. Les procédés se distinguent par leur mode de transit des déchets (mécanique, pression de gaz).

En se basant sur des critères exogènes tels que le coût, la productivité, le rendement et la facilité d'exploitation, les procédés de méthanisation actuels varient du plus rudimentaire au plus sophistiqué. Dans tous les cas, une installation complète de méthanisation comprendra généralement, en sus du digesteur :

- En amont :
  - une fosse ou aire tampon de stockage et homogénéisation,
  - un dispositif d'alimentation du digesteur,
- En aval :
  - le stockage et les équipements d'utilisation du biogaz,
  - une fosse ou aire de collecte du digestat avec séparation solide/liquide si nécessaire,
  - une aire de maturation et affinage du compost,
  - un dispositif de traitement de la fraction liquide résiduelle si nécessaire.

## **IV. Application en régions chaudes**

### IV.1. Un intérêt particulier

La valorisation énergétique de la biomasse en zone tropicale a toujours retenu l'attention des experts du fait de l'importance du gisement et des potentialités du climat. Cependant, le maintien de la fertilité des sols est une condition essentielle de la conservation du potentiel de production de biomasse. Au sud du Sahara, les sols de texture sableuse à sablo-argileuse sont pauvres en colloïdes organo-minéraux<sup>1</sup>. Les conditions climatiques sont favorables à la minéralisation rapide de la matière organique, qui n'est plus remplacée au rythme nécessaire. Le stock de matière organique dans le sol chute très vite sous culture et l'évolution du sol va alors s'accélérer et devenir de plus en plus "physico-chimique"<sup>2</sup>. La fertilisation minérale permet de relever ou de maintenir le niveau de production à court terme, en compensant en partie les pertes. Cependant, après quelques années, le capital humique n'étant pas maintenu, l'efficacité de l'engrais, et

---

<sup>1</sup> Pieri C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de 30 ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara - Ministère de la Coopération et CIRAD/IRAT éditeurs.

<sup>2</sup> Mustin M., 1987. Le compost. Gestion de la matière organique - Editions François Dubus/Paris.

consécutivement les rendements, peuvent chuter à la moitié ou au tiers de leur valeur initiale<sup>3,4</sup>. Sans préjuger des doses à appliquer, on conviendra de l'action positive et stabilisatrice d'un recyclage de la matière organique sur le maintien du potentiel de production de la biomasse. Ce recyclage doit aller de pair avec la suppression des carences minérales et des déséquilibres physico-chimiques.

Outre ces éléments, le contexte des régions chaudes est particulièrement favorable du fait:

- d'un climat propice, avec des températures moyennes élevées, permettant le développement spontané de la flore microbienne mésophile (en Europe, 30 à 50% de la production de biogaz est utilisée pour maintenir le fermenteur en température),
- de la cherté des énergies conventionnelles dans les pays non producteurs de pétrole,
- de la quasi-absence de réseaux de distribution et d'une infrastructure routière et ferroviaire peu développée, nécessitant le recours à la production d'énergie décentralisée.

On pourra distinguer 2 grands domaines d'application de la méthanisation :

- l'agriculture/élevage : résidus de récolte et fumiers d'élevage peuvent être valorisés pour la production d'énergie domestique et l'alimentation de la petite motorisation rurale à poste fixe (pompes, moulins, etc...)
- la petite agro-industrie: déchets d'abattoir, d'huilerie, de sucrerie, d'usinage du café ou du manioc, etc... peuvent conduire à la production industrielle de chaleur et d'électricité.

En Afrique soudano-sahélienne, c'est en milieu rural que se situe l'essentiel du potentiel de valorisation de la biomasse. Le problème de l'eau, les pratiques agricoles encore très extensives et les contraintes socio-économiques induisent des conditions très spécifiques de développement de la méthanisation. Les pratiques d'élevage sont encore largement extensives avec une prédominance des troupeaux de bovins transhumants et l'existence d'un petit bétail de case (ovins, caprins, équins). De même, les résidus de récolte font l'objet d'utilisations traditionnelles ou d'une exportation en dehors du système de production.

Les agro-industries bénéficient d'un avantage primordial par rapport au milieu rural : les déchets à valoriser sont concentrés en un même lieu, avec un rythme de production soutenu et régulier. Ces industries sont principalement concentrées à proximité des villes où la contrainte environnementale se fait de plus en plus sentir. Au Sénégal, la restructuration de la zone industrielle de la ville de Dakar est à l'étude pour réduire la pollution et les nuisances.

#### IV.2. Technologies utilisées

Pour les pays en développement des régions chaudes, nous limiterons notre présentation aux digesteurs adaptés pour les déchets solides, ces derniers étant les plus fréquemment disponibles. Comme exposé précédemment, on entend par « solides » les déchets organiques à forte teneur en matières sèches, dits « pelletables », tels que par exemple les fumiers pailleux, les matières stercoraires d'abattoirs, la pulpe de café, les épluchures de manioc, la fraction organique des ordures ménagères...

Dans les digesteurs pour solides, le substrat est, soit non immergé, soit immergé avec ou sans recirculation des liquides. Le cycle de traitement peut être discontinu ou continu. En discontinu,

---

<sup>3</sup> Pichot J., Sedogo MP., Poulain JF., Arrivets J., 1981. Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence de fumures minérales et organiques. In: L'agronomie tropicale XXXVI, 2, pp 122-133.

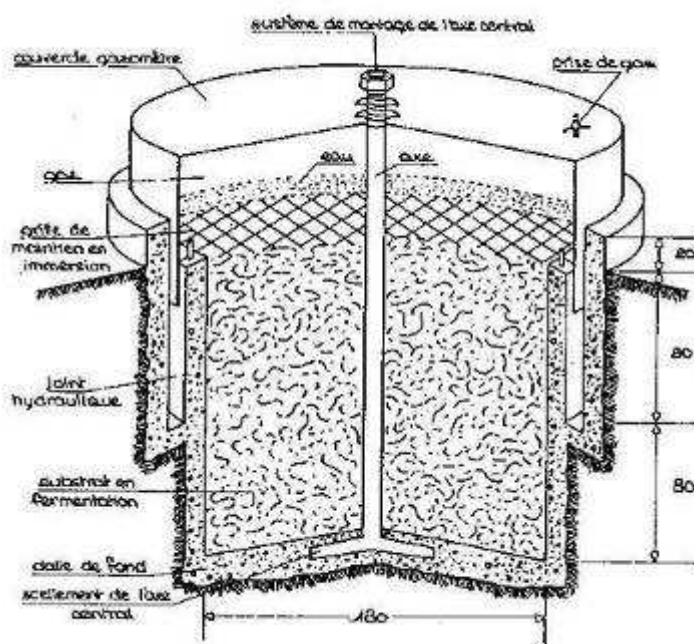
<sup>4</sup> Farinet JL., Sarr PL., 1989. Rôle du compostage sur le maintien de la productivité d'une culture de mil en zone aride. In: Agronomie et ressources naturelles en régions tropicales. Actes des journées de la DRN, IRAT/CIRAD éditeur.



la totalité du contenu du réacteur est renouvelé périodiquement en une seule fois, tandis qu'en continu, une fraction seulement du contenu est renouvelée à un pas de temps régulier. Nous décrirons 2 technologies adaptés pour de petites à moyennes capacités de traitement, le digesteur discontinu et le digesteur Transpaille.

Le digesteur discontinu<sup>5</sup> : c'est le plus simple; il ne nécessite qu'une enceinte isolée ou enterrée équipée d'un couvercle supérieur ou mieux, d'un dôme flottant ou d'une bache gonflante assurant le stockage du biogaz (Figure 1).

Figure 1. Digesteur cuve en discontinu avec dôme flottant.



On charge le substrat prétraité ou non, puis on ferme l'enceinte et on laisse la digestion se dérouler pendant 20 à 40 jours selon la biodégradabilité et la température ambiante. Au cours de cette période, la production de biogaz augmente, passe par un maximum puis décroît. A l'issue de la digestion, on ouvre l'enceinte, on extrait le résidu solide en laissant les jus et l'on procède à un nouveau chargement. Pour obtenir une production de biogaz régulière, il est nécessaire de disposer au minimum de 3 digesteurs fonctionnant en parallèle avec un chargement décalé. Les principaux défauts de ce système très simple concernent son emprise foncière, le nécessaire stockage préalable des déchets, son exploitation qui nécessite des temps de travaux importants et son inadaptation aux substrats à profil de digestion acide qui induisent une acidification totale du milieu.

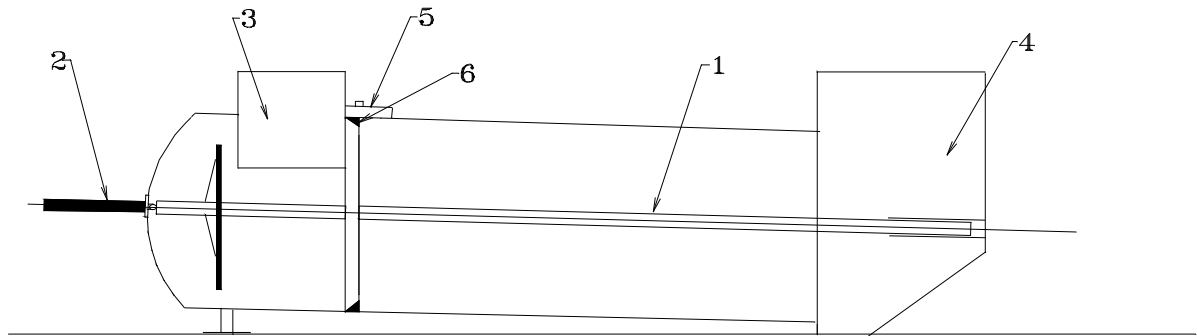
Le digesteur TRANSPAILLE<sup>6</sup> : breveté en 1983 et développé par le CIRAD, il utilise le principe du réacteur piston en continu (Figure 2). Il s'agit d'un long cylindre horizontal, d'une capacité

<sup>5</sup> Théoleyre M.A., Héduit M., 1986. La méthanisation des fumiers - Guide pratique pour l'autoconstruction. GIDA/AFME, Paris, France.

<sup>6</sup> Elmaleh S., Elyaman F., Farinet J.L., Forest F., 1991. Méthanisation de déchets pailleux en réacteur tubulaire séquentiel. Récents Progrès en Génie des Procédés. Génie des réacteurs et des réactions. Antonini G. (Éd.), Ben Aim E. (Éd.), Paris, France, Lavoisier, p. 29-33.

unitaire maximum de 50 m<sup>3</sup>, équipé à ses extrémités d'une trémie d'alimentation en déchets (3) et d'une fosse d'évacuation du digestat (4).

Figure 2. Digesteur continu TRANSPAILLE.



Pour favoriser la récupération du biogaz dans le collecteur supérieur (5), le cylindre, équipé d'un joint hydraulique (6), est incliné de 2 à 3 degrés par rapport à l'horizontal. Le substrat s'écoule de l'entrée vers la sortie suivant un régime dit "piston" qui favorise les cinétiques de réaction et minimise les risques d'acidification. Le temps de séjour des déchets varie de 15 à 30 jours selon leur biodégradabilité et la température ambiante. Le procédé est basé sur un dispositif de transfert des solides en immersion, constitué d'un arbre central de transfert (1) qui est actionné par un vérin hydraulique double effet (2). Le vérin n'effectue qu'un aller-retour par jour lors de l'opération de chargement du substrat, avec donc une très faible consommation d'énergie, de l'ordre de 0,3% de l'énergie produite. Les résidus digérés sont évacués manuellement ou mécaniquement, puis égouttés. Ils subissent ensuite un compostage de finition à l'air libre, avant recyclage agricole.

La cuverie du fermenteur est généralement réalisée en tôle mécano-soudée et la construction est possible dans la plupart des ateliers de construction mécanique correctement équipés. L'arbre denté et le bouclier de poussée sont actionnés par un vérin hydraulique double effet alimenté par une pompe hydraulique manuelle pour les petits fermenteurs et par une électropompe pour les fermenteurs de capacité supérieure à 10 m<sup>3</sup>.

Le procédé continu correspond en fait à une infinité de compartiments en discontinu. Les performances de méthanisation sont cependant supérieures du fait de l'absence des redémarrages successifs. La productivité et le coût au m<sup>3</sup> installé variant sensiblement dans le même rapport, le coût du biogaz est identique à production égale. Le choix de l'un ou l'autre procédé sera fonction de la disponibilité de la main d'œuvre. L'exploitation de 3 cuves en cycles décalés fait appel à une lourde charge de travail tous les 20-25 jours, alors que le procédé continu implique la disponibilité journalière d'une main d'œuvre réduite.

## **V. Exemples d'applications**

Deux exemples d'application seront traités sur la base de la technologie TRANSPAILLE. Le premier concerne une unité décentralisée de production d'énergie motrice à partir de résidus agricoles au Mali. Le second concerne une filière complète de valorisation des déchets d'abattoir mise en place au Sénégal.

### V.1. Production décentralisée d'énergie au Mali

La ferme expérimentale de l'ONG AEDR est située à Teriya Bugu, à plus de 350 kms de la capitale Bamako. L'approvisionnement en gasoil pour la production d'électricité et l'irrigation des cultures n'est pas aisé, car aléatoire et coûteux.

Compte tenu de la grande quantité de déchets organiques disponibles sur la ferme (pailles de maïs, riz et mil, fumier issu du parcage de nuit de 150 bovins), la solution proposée consiste à les valoriser par méthanisation pour assurer les besoins en carburant du poste de pompage principal pour l'irrigation. Le compost est destiné aux cultures maraîchères très demandeuses de matière organique.

L'unité TRANSPAILLE a été dimensionnée pour assurer le pompage de 4000 m<sup>3</sup> d'eau à 15 m HMT tous les 2 jours en période de pointe, ce qui correspond annuellement à 585 000 m<sup>3</sup> d'eau sur 730 heures de fonctionnement. Le volume utile de fermentation est de 50 m<sup>3</sup> répartis en 2 digesteurs de 25 m<sup>3</sup> chacun. Les performances mesurées sont les suivantes :

- charge : 125 kg MS/réacteur.jour soit environ 400 kg/j de mélange 80% paille/20% fumier
- productions (température de 30 à 35°C) :
  - biogaz: 50 m<sup>3</sup>/j
  - compost: 60 tonnes/an

La capacité de stockage du biogaz est de 100 m<sup>3</sup> et le groupe motopompe spécialement adapté au biogaz a une puissance de 37 kW à 1500 tr/mn (débit 700 m<sup>3</sup>/h à 15 m HMT).

Le bilan économique<sup>7</sup> montre que le prix de revient du carburant biogaz est 4 fois plus élevé que celui du gasoil mais sans tenir compte de la valeur marchande du compost qui est autoconsommé. Par ailleurs, quelle valeur donner à l'autonomie énergétique ?

### V 1. Valorisation des déchets d'abattoir au Sénégal

Les abattoirs du Sénégal, gérés par une société privée, la SERAS, sont confrontés à 2 problèmes principaux:

- 1. les nuisances et la pollution causées par le rejet de leurs déchets dans le milieu naturel,
- 2. les consommations d'énergie et d'eau qui fragilisent cette activité dont l'équilibre financier est déjà précaire.

Les abattoirs abattent en majorité des bovins selon les préceptes de la religion musulmane, qui interdisent la récupération d'un sang de qualité. Les déchets produits se répartissent comme suit:

- solides: matières stercoraires (contenu des panses et boyaux) récupérés au niveau de la triperie et fumier des parc d'attente, soit environ 280 kg déchets/tonne carcasse (1 tonne carcasse = 7,5 bovins),
- liquide: eaux de lavage riches en sang et graisses, environ 5 m<sup>3</sup>/tonne carcasse.

La solution proposée consiste à valoriser les déchets solides par méthanisation et à traiter les eaux de lavage par lagunage, technique bien adaptée sous climat tropical. Nous détaillerons principalement les caractéristiques et les performances obtenues sur la période 1989-1994.

---

<sup>7</sup> Farinet JL., Forest F. La centrale énergétique TRANSPAILLE de Teriya Bugu au Mali. In: Actes des journées industrielles sur la digestion anaérobie, CFRP/INRA/CQVB éditeurs, juin 1996, pp 89-94.

L'abattoir de Thiès a une capacité d'abattage de 1900 tonnes carcasse/an. L'unité TRANSPAILLE, mise en service en 1989, comprend:

- un fermenteur de capacité utile 40 m<sup>3</sup>, charge nominale: 1,3 tonnes déchets/jour,
- un dispositif de stockage du biogaz en réservoirs souples de capacité totale 60 m<sup>3</sup>,
- un groupe électrogène 100% gaz, 20 KVA à 3000 trs/mn avec récupération de calories pour le réchauffage du fermenteur,
- une fosse d'accumulation et égouttage du digestat,
- une aire bétonnée de maturation du compost.

Chaque jour, les matières stercoraires et fumiers sont chargés dans la trémie du digesteur, tandis que les digestats sont évacués 3 fois par semaine à l'autre extrémité. Ils subissent ensuite une finition aérobie en fosse puis en tas pendant 75 jours pour donner un amendement organique stabilisé, épandable en grandes cultures.

Le groupe électrogène à gaz est connecté sur la ligne d'alimentation électrique de l'abattoir, de préférence lors des horaires de tarification haute. Il permet ainsi des économies notables d'électricité.

Compte tenu des problèmes de commercialisation du compost au stade amendement organique, une filière de production de support de culture pour les pépinières de plants maraîchers et fruitiers a été mise en place en 1990<sup>8</sup>. Le compost doit dans ce cas subir une finition aérobie beaucoup plus prononcée pendant 4 à 5 mois, avec plusieurs retournements. Il est ensuite mélangé à du sable et divers adjuvants, puis conditionné sous forme de mini-mottes ou en pots. Après semis et élevage sous ombrière, le produit final est un plant maraîcher (tomate, melon) ou fruitier (papayer) prêt au repiquage en plein champs.

Les études technico-économiques<sup>9</sup> ont montré que l'équilibre financier était obtenu avec la seule vente de compost au stade amendement organique, tandis que la production de plants permettait un temps de retour sur investissement de 4 ans.

---

<sup>8</sup> Farinet JL. La commercialisation du compost sous forme de plants en motte. Agriculture et développement n°1, dossier déchets, janvier 1994.

<sup>9</sup> Farinet JL., Hurvois Y., Forest F., 1991. Wastes management and processing for energy, fertilizer and pollution control in a tropical slaughterhouse. In: VIth European Conference "Biomass for energy, industry and environment", Athens/Greece, april 22-26. Elsevier Applied Sciences, London.